



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 61 578 A 1**

57 Int. Cl.⁷:
B 81 B 3/00
B 81 C 1/00
// G01P 15/08, 9/00,
G01L 9/12

21 Aktenzeichen: 199 61 578.0
22 Anmeldetag: 21. 12. 1999
49 Offenlegungstag: 28. 6. 2001

DE 199 61 578 A 1

11 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

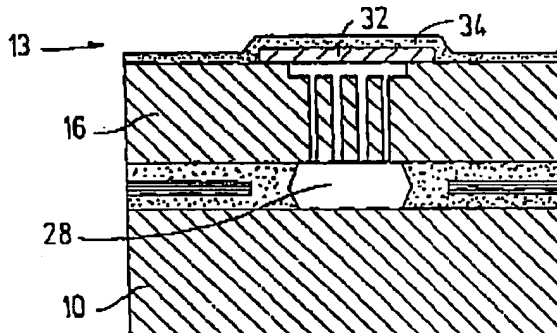
12 Erfinder:
Reichenbach, Frank, 72760 Reutlingen, DE; Pinter, Stefan, Dr., 72762 Reutlingen, DE; Henning, Frank, 72766 Reutlingen, DE; Artmann, Hans., 71106 Magstadt, DE; Baumann, Helmut, Dr., 72810 Gomaringen, DE; Leermar, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Offenberger, Michael, Dr., 72138 Kirchentellinsfurt, DE; Bischofink, Georg, Dr., 72124 Pliezhausen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Sensor mit zumindest einer mikromechanischen Struktur und Verfahren zur Herstellung

57 Die Erfindung betrifft einen Sensor mit zumindest einer mikromechanischen Struktur auf Siliziumbasis, die in einem Sensorraum eines Grundwafers integriert ist, und zumindest einer den Grundwafer im Bereich des Sensorraumes abdeckenden Abdeckung sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Sensors.

Es ist vorgesehen, dass beim erfindungsgemäßen Sensor die Abdeckung (13) aus einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte transparenten ersten Schicht (32) (Abscheideschicht) und einer darüber liegenden hermetisch dichtenden zweiten Schicht (34) (Abdichtungsschicht) besteht und dass beim erfindungsgemäßen Verfahren zumindest der im Grundwafer (11) nach Etablierung der Struktur (26) vorhandene Sensorraum (28) mit einem Oxid (30), insbesondere CVD-Oxid oder porösen Oxid, gefüllt wird, der Sensorraum (28) mit einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte transparenten oder nachträglich transparent gemachten ersten Schicht (32) (Abscheideschicht), insbesondere aus Polysilizium, bedeckt wird, das Oxid (30) in dem Sensorraum (28) durch die Abscheideschicht (32) hindurch mit dem Ätzmedium entfernt wird und anschließend eine zweite Schicht (34) (Abdichtungsschicht), insbesondere aus Metall oder einem Isolator, auf die Abscheideschicht (32) aufgebracht wird, die den Sensorraum (28) hermetisch abdichtet.



DE 199 61 578 A 1

Not a photocopy

DE 199 61 578 A 1

1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Sensor mit zumindest einer mikromechanischen Struktur auf Siliziumbasis mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Sensors mit den im Oberbegriff des Anspruchs 18 genannten Merkmalen.

Stand der Technik

Sensoren, die mikromechanische Strukturen auf Siliziumbasis besitzen, sind bekannt. Handelt es sich bei der mikromechanischen Struktur um ein bewegliches Element (Sensorelement), können derartige Sensoren beispielsweise als Beschleunigungssensoren, Drehbeschleunigungssensoren, Neigungssensoren, resonante Magnetfeldsensoren oder Drucksensoren eingesetzt werden. Üblicherweise bestehen diese Sensoren aus einem Grundwafer, der zumeist ebenfalls aus siliziumhaltigen Materialien geformt ist, in dem die Struktur in einem sogenannten Sensorraum seiner Oberfläche integriert ist. Zum Schutz der Strukturen und der im Sensorraum herrschenden Atmosphäre wird der Grundwafer mit einem Kappenwafer mit einer jeweils zumindest den Sensorraum abdeckenden Abdeckung belegt. Dieser Kappenwafer weist aufgrund seiner mikromechanischen Vorstrukturierung eine Vielzahl von Einzelkappen im Verbund auf, von denen jede Einzelkappe jeweils exakt über den Sensorraum zu liegen kommt, mit diesem hermetisch dicht verlötet wird und dadurch die darunter liegende Sensorstruktur hermetisch gegen die Umwelt abschirmt.

Aus der DE 195 37 814 A1 ist die Herstellung derartiger Sensoren bekannt. Ausgehend von einem Siliziumsubstrat werden dabei abwechselnd Isolationsschichten und Leitungsschichten (als Elektroden oder elektrische Verbindungen) mit den herkömmlichen, in der Halbleitertechnik bekannten Verfahrensschritten aufgebracht. Mittels ebenfalls bekannter Maskierungs- und Bearbeitungsverfahren kann eine Strukturierung derartiger Schichten, beispielsweise über Lithografie oder Ätzprozesse, erfolgen. In einem sich anschließenden Prozessschritt wird eine polykristalline Siliziumschicht (Epipolysilizium) mit einer Schichtdicke von wenigen Nanometern bis zu einigen 10 µm, vorzugsweise 10 bis 20 µm, erzeugt. Aus dieser Siliziumschicht werden letztendlich die benötigten Strukturen geätzt und durch ein Unterätzen frei beweglich gemacht. Die zuvor aufgetragene und strukturierte vergrabene Leitungsschicht erlaubt es, elektrische Verbindungen zwischen Elementen des Sensors und mit der "Außenwelt" in Form sogenannter Anschlussbereiche herzustellen. Diese Anschlussbereiche, die über die Leitschicht mit Sensorelementen in Verbindung stehen, tragen an ihrer Oberfläche eine Metallisierung. Der Anschlussbereich mit der darauf aufgetragenen Metallisierung dient zum Befestigen von Bonddrähten, mit denen dann ein elektrischer Kontakt zu den Strukturen im Sensorraum (Sensorstruktur) hergestellt werden soll. Die in der DE 195 37 814 A1 genannte Sensorstruktur zeichnet sich dadurch aus, dass sie einen beweglichen (frei stehenden) Bereich mit Messkapazitäten besitzt, wobei Veränderungen der Messkapazität bei einer Auslenkung als Messgröße genutzt werden.

Die insgesamt hier exemplarisch angeführten Bestandteile des Sensors werden aus Gründen der Vereinfachung des Weiteren als Grundwafer bezeichnet. Der Grundwafer muss in einem letzten Bearbeitungsschritt mit dem Kappenwafer hermetisch dicht verbunden werden. Dazu ist beim Stand der Technik vorgesehen, mittels einer Glaslotschicht auf dem Kappenwafer jeweils einen Deckel oberhalb jedes Sensorraumes auf der Oberfläche des Grundwafers zu befe-

2

stigen (Seal-Glaslotprozess). Nachteilig hierbei ist, dass diese Technik relativ kostspielig ist. So muss die Glaslotschicht mittels Siebdruckverfahren auf dem mikromechanisch strukturierten Kappenwafer aufgebracht werden. Der Kappenwafer muss bereits beidseitig strukturiert sein, um anschließend die Verdeckelung und die Kontaktierung des Sensors zu ermöglichen, das heißt, der Kappenwafer selbst ist bereits in sich kostspielig. Darüber hinaus weist diese Verkappungstechnik einen relativ hohen Platzbedarf auf, bei dem bis zu zirka 75% der Einzelselementfläche für die Verankerung der Kappe auf dem Sensorchip benötigt werden. Die sich ergebende Bauhöhe und beschränkten Strukturierungsmöglichkeiten schließen die Verwendung bestimmter besonders kostengünstiger Gehäuse für den Sensor aus.

Häufig sind die durch die Kappen des Kappenwafers überdeckten frei stehenden Bereiche relativ groß. Sensorstrukturen weisen häufig Kantenlängen von mehreren 100 µm auf. Wird ein solcher Sensor mit einer mechanischen Überlast beaufschlagt, so kann im Extremfall ein Durchbiegen der Deckschicht nicht nur zu einer Störung der sensorischen Eigenschaften, sondern letztendlich auch zu einer übermäßigen Auslenkung der Sensorstruktur bis zu einer irreversiblen Schädigung führen.

Vorteile der Erfindung

Erfindungsgemäß werden durch den Sensor und das Verfahren zur Herstellung des Sensors mit den in den Ansprüchen 1 und 18 genannten Merkmalen die Nachteile des Standes der Technik überwunden. Dadurch, dass die Abdeckung aus einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte transparenten ersten Schicht (Abscheideschicht) und einer darüber liegenden hermetisch dichtenden zweiten Schicht (Abdichtungsschicht) besteht, kann prozesstechnisch auf den teuren Kappenwafer, die herkömmlichen Siebdruck- und Lötverfahren und auf die großen Flächenverhalte der Glaslottechnik verzichtet werden und damit die Prozessierung insgesamt wesentlich kostengünstiger vollzogen werden. Indem

(a) zumindest der im Grundwafer nach Etablierung der Struktur vorhandene Sensorraum mit einem Oxid, insbesondere einem CVD-Oxid oder porösem Oxid, gefüllt wird,

(b) der Sensorraum mit einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte transparenten oder nachträglich transparent gemachten ersten Schicht, insbesondere aus Polysilizium, bedeckt wird,

(c) das Oxid in dem Sensorraum durch die erste Schicht (Abscheideschicht) hindurch mit dem Ätzmedium entfernt wird und

(d) anschließend eine zweite Schicht (Abdichtungsschicht), insbesondere aus Metall oder einem Isolator, auf die erste Schicht aufgebracht wird, die den Sensorraum hermetisch abdichtet,

ist es möglich, eine Strukturierung der Abdeckung nachträglich über die in der Halbleitertechnik bekannten Maskierungs- und Bearbeitungsverfahren zu ermöglichen.

Nach den Schritten (a) und/oder (b) kann eine Planarisierung der Waferoberfläche durchgeführt werden (zum Beispiel CMP = chemo mechanical polishing). Hierdurch werden insbesondere die bestehenden Prozessprobleme aufgrund von Topografien, beispielsweise die Aufbringung und Strukturierung der Bondpads (Metallisierung), umgangen. Gegenüber dem etablierten Kappenprozess resultieren aus der vereinfachten Prozessführung auch deutlich geminderte Herstellungskosten. Die Erfindung schafft somit einen Zu-

DE 199 61 578 A 1

3

gang zu einem Sensor der gangungsgemäßen Art und zeigt ein Verfahren zur Herstellung des Sensors auf, mittels dem es erstmalig möglich ist, eine Verkappung mit deutlich geringerer Bauhöhe zum hermetischen Abdichten von Sensorräumen bei mikromechanischen Strukturen zu verwenden, so dass ein Einbau in die bereits erwähnten, besonders kostengünstigen Gehäuse nunmehr möglich wird.

Die Permeabilität der Abscheideschicht für das benötigte Ätzmedium und die während der Ätzung entstehenden Reaktionsprodukte kann auf zweierlei Weise erzwungen werden. Zum einen können durch anisotropes Ätzen Ätzöffnungen in die Abscheideschicht eingebracht werden, wie es beispielsweise durch das in der DE 42 41 045 patentierte Silizium-Tiefenätzverfahren beschrieben wird. Größe und Lage derartiger Ätzöffnungen können durch eine Maskierung fotolithografisch sehr gezielt definiert werden, so dass es unter anderem möglich ist, eine spätere Exposition des Sensorraumes mit dem die Abdichtungsschicht bildenden, hermetisch dichtenden Material möglichst gering zu halten. Es können Ätzöffnungen erzeugt werden, die einen Durchmesser von Bruchteilen von Mikrometern bis zu einigen Mikrometern haben und die in noch zu erläuternder Weise in relativ kurzer Zeit abgedichtet werden können. Dies wird beispielsweise durch ein hohes Aspektverhältnis – einem Verhältnis zwischen Tiefe und Durchmesser der Ätzöffnungen – erreicht.

Zum anderen können für die Abdeckung permeable Materialien eingesetzt werden, zum Beispiel Silizium, Polysilizium oder Epipolysilizium, welches aufgrund der Abscheidebedingungen bereits permeabel ist oder durch nachfolgende Prozessierung zumindest in Bereichen permeabel gemacht wird.

Ein vorteilhaftes Verfahren, um die Transparenz der Abdeckung zu erzwingen, ist die Anwendung elektrochemischer Ätzvorgänge. Eine derartige Modifikation der Abscheideschicht erfolgt in einem geeigneten Elektrolyten, beispielsweise einem Flusssäure-Ethanol-Gemisch. Dabei wird das dem Ätzvorgang ausgesetzte Silizium der Abdeckung in poröses Silizium umgewandelt, also porosifiziert. Nicht zu porosifizierende Bereiche der Abscheideschicht können in bekannter Weise durch Maskierschichten oder entsprechende Dotierung (zum Beispiel n) geschützt werden. Ein elektrischer Anschluss durch Anlegen eines anodischen Potentials kann sowohl über die Oberseite als auch von der Unterseite der Abscheideschicht erfolgen. Im letzteren Fall wird das anodische Potential an die unterhalb der Abscheideschicht liegende Schicht aus Epipolysilizium, die sowohl das Material der Sensorstrukturen als auch des Bondrahmens des Grundwafers bildet, gelegt. Hierbei ist vorteilhaft, dass der Bondrahmen direkt elektrisch mit dem Grundwafer verbunden werden kann. Eine zusätzliche elektrische Verbindung zwischen Grundwafer und Abdeckung besteht in Form von Stützelementen, welche zur mechanischen Stabilisierung der Abdeckung vorgesehen werden können. Damit ist es in einfacher Weise möglich, die elektrische Kontaktierung der Abscheideschicht über den Grundwafer von der Rückseite des Grundwafers vorzunehmen (Rückseitenkontakt).

Der Ätzvorgang kann zusätzlich durch Bestrahlung in einem Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1000 nm, insbesondere zwischen 350 nm bis 800 nm, unterstützt werden. Auf diese Weise kann die Bearbeitung der Abscheideschicht besonders homogen erfolgen. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, mittels gezielter Dotierung der Abscheideschicht die Porosität und damit die Permeabilität des porösen Siliziums zu beeinflussen. So wird eine p-Dotierung zur Erzeugung mesoporener Poren genutzt, während eine n-Dotierung zur Erzeugung von Ätzöffnungen mit einem Durchmesser von einigen Nanometern bis zu mehreren Mikrometern genutzt

4

werden kann.

Weiterhin hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Permeabilität der Abscheideschicht durch ein ebenfalls nachträglich eingesetztes modifiziertes Stain-Etch-Verfahren zu erzwingen, bei dem eine Mischung aus Flusssäure, Salpetersäure und Wasser eingesetzt wird. Über eine Einstellung der Mischverhältnisse und Expositionszeiten kann die Porosität und Tiefe der Ätzung eingestellt werden.

Als besonders vorteilhaft hat es sich auch erwiesen, die Permeabilität der Abscheideschicht mittels eines galvanischen Verfahrens, bei dem eine Metallschicht in dem nicht zu verändernden Bereich der Abdeckung aufgebracht wird, zu erzeugen. Die metallische Schicht übernimmt dabei gleichzeitig die Funktion einer Maskierungsschicht und braucht vor der Aufbringung der späteren Abdichtungsschicht nicht notwendigerweise entfernt zu werden. Sie besteht aus einem Metall, das edler ist als Silizium, insbesondere aus Edelmetallen wie Platin und Gold. Die Porosität des während des galvanischen Prozesses erzeugten porösen (Poly-)Siliziums kann in Abhängigkeit von einer Stromdichte und der Elektrolytzusammensetzung, insbesondere über das Flächenverhältnis Metall/Silizium, beeinflusst werden, da dies das galvanische Element, also die Stromquelle darstellt.

Es hat sich ferner als vorteilhaft erwiesen, dass an der Unterseite der Abscheideschicht Stützelemente vorgesehen sind, die eine mechanisch stabile Verbindung zwischen dem Grundwafer und der Abdeckung darstellen. Sind die einzelnen Stützelemente oder auch Stützstreben einige Mikrometer bis einige 10 Mikrometer voneinander beabstandet, so ist einerseits ein übermäßiges Durchbiegen der Deckplatte bei Beaufschlagung mit einer Überlast verhindert und andererseits ist insgesamt die Stabilität wesentlich erhöht.

Ferner hat es sich als vorteilhaft erwiesen, auch die Abdichtungsschicht durch ein maskiertes Ätzverfahren zu strukturieren. Dabei kann das verwendete Ätzverfahren auch eine Strukturierung der Abscheideschicht und gegebenenfalls sogar darüber hinaus eine obere Schicht des Grundwafers, insbesondere aus Epipolysilizium, umfassen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann über die Druckbedingungen, die während der Deposition der Abdichtungsschicht herrschen, der Druck innerhalb des Sensorraumes eingestellt werden. Der während der Deposition der Abdichtungsschicht herrschende Prozessdruck wird sich automatisch auch im Sensorraum einstellen und dort eingesiegelt werden, während die Abdichtungsschicht aufwächst. Als Abscheideprozesse für die Abdichtungsschicht kommen Sputterprozesse (für Metallschichten) oder PECVD-Prozesse (für SiN, SiO, SiC, etc.) in Frage. Soll der eingeschlossene Druck nicht identisch zum Abscheidedruck sein, bestehen zusätzliche Optionen. Vorteilhafterweise wird dazu vor oder während der Deposition der Sensor mit einem zusätzlich in die Depositionskammer eingebrachten Inertgas, insbesondere Helium, bei einer vorgegebenen Temperatur beaufschlagt. Aufgrund der Permeabilität der Abscheideschicht kann ein verzögerter Druckausgleich erfolgen, wobei die zugrunde liegenden Diffusionsvorgänge empirisch ermittelt werden können. Da die Unterbindung des Druckausgleiches durch Aufbringung der Abdichtungsschicht bereits bei Schichtdicken von wenigen Mikrometern oder darunter gegeben ist, kann die Versiegelung innerhalb relativ kurzer Zeiten erfolgen.

Über die genannten erfindungsgemäßen Verfahrensschritte lassen sich außerdem in besonders einfacher Weise kapazitive Drucksensoren herstellen. Als gemeinsames Merkmal weisen derartige Drucksensoren eine Differential-kondensatoranordnung auf, die direkt oder über ein Kuppelungselement mit der Abdeckung verbunden ist, so dass eine

DE 199 61 578 A 1

5

Durchbiegung der Abdeckung zu einer Änderung der Kapazitäten in der Differentialkondensatoranordnung führt, welche wiederum als Messgröße dient.

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 bis 13 das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren in einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 14 bis 16 ein alternatives Herstellungsverfahren, beginnend nach der Deposition einer Abscheideschicht gemäß Fig. 8;

Fig. 17 und 18 eine weitere Ausgestaltung des Herstellungsverfahrens zur Erzeugung eines oberflächenmikromechanischen kapazitiven Drucksensors mit einer Torsionswippe;

Fig. 19 und 20 eine weitere alternative Ausführungsform eines kapazitiven Drucksensors;

Fig. 21 bis 23 eine alternative Vorgehensweise zur Beeinflussung der Permeabilität der Abscheideschicht mittels eines elektrochemischen Ätzzvorganges;

Fig. 24 bis 27 alternative Maskierungsstrukturen von Metallschichten, die bei einem galvanischen Verfahren zur PermeabilitätsEinstellung der Abscheideschicht verwendbar sind;

Fig. 28 eine Abdeckung mit Stützelementen;

Fig. 29 eine Abdeckung mit Stützelementen und Ätzöffnungen;

Fig. 30 eine Abdeckung mit Stützelementen und einem Kontaktierungsbereich für Bondpads;

Fig. 31 eine alternative Ausführungsform der Stützelemente;

Fig. 32 bis 34 eine weitere Ausgestaltung des Herstellungsverfahrens zur Erzeugung einer metallischen Versiegelung und eines metallischen Kontaktpads und

Fig. 34' eine alternative Ausführungsform mit einem Dielektrikum als Versiegelung und einem metallischen Kontaktpad.

Die Fig. 1 bis 13 illustrieren das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren für Sensoren, wie Beschleunigungssensoren oder Drehratensensoren und insbesondere auch kapazitive Drucksensoren. Dabei sind die in den Fig. 1 bis 4 skizzierten Verfahrensschritte bereits aus der DE 195 37 814 A1 bekannt und werden daher im Folgenden nur verkürzt wiedergegeben.

Definitionsgemäß ist im Weiteren eine Einteilung des Sensors in einen Grundwafer 11 und eine Dünnschicht-Sensorverkapung in Form einer Abdeckung 13 vorgenommen worden. Der Grundwafer 11 umfasst dabei alle zur Funktionalität des Sensors notwendigen Bauelemente, insbesondere noch näher zu erläuternde Kontaktbereiche, mikromechanische Strukturen und Elektroden. Die Abdeckung 13 erstreckt sich definitionsgemäß beginnend von einer Abscheideschicht bis inklusive zu einer Abdichtungsschicht und dient der hermetischen Versiegelung eines Sensorraumes, in dem sich die mikromechanischen Strukturen befinden.

Auf einem Siliziumsubstrat 10 ist in bekannter Weise eine Isolationsschicht 12, die eine leitende Schicht 14 umschließt, aufgebracht. Eine Strukturierung der beiden Schichten 12 und 14 kann mittels bekannter, in der Halbleitertechnik verwendeter Verfahrensschritte, beispielsweise durch Lithografie und Ätzprozesse und folgende Ätzschritte, erfolgen. Des Weiteren wird eine polykristalline Si-

6

lizienschicht 16 mit gewünschter Schichtdicke aufgebracht, die die Isolationsschicht 12 abdeckt. Die Siliziumschicht 16 besteht üblicherweise aus Epipolysilizium, während die leitende Schicht 14 aus einem gegebenenfalls sehr hoch dotierten Polysilizium geformt ist (Fig. 1).

Durch Aufbringung einer Maskierungsschicht 18 wird ein Bereich 20 definiert, in dem in späteren Verfahrensschritten die mikromechanische Struktur erzeugt werden soll. Zunächst wird der Bereich durch einen Vortrittschritt vertieft (Vertiefung 20; Fig. 2).

In einem sich anschließenden Lithografieschritt (Fig. 3) wird der derart vorstrukturierte Grundwafer 11 in der Vertiefung 20 mit einer Fotolackmaske 22 überzogen, die die zu erzeugenden Sensorstrukturen, beispielsweise kapazitive Kammstrukturen, Federn, Anschläge, Elektrodenflächen, Perforationen einer seismischen Masse, vorgibt. Wesentlich ist es dabei, die eigentlichen Sensorstrukturen mit einem ausreichend großem Abstand von den Kanten der zuvor eingebrachten Vertiefung 20 auszuführen, da dort die Lithografiegenauigkeit und Auflösung durch die Topografieunterschiede sonst beeinträchtigt ist.

Wie aus der Fig. 4 ersichtlich, werden in den nicht durch den Fotolack 22 abgedeckten Bereichen durch bekannte, geeignete Ätzverfahren, zum Beispiel nach Art der DE 42 41 045, Trenchgräben 24, die sich bis zur Isolationsschicht 12 erstrecken, eingebracht. Auf diese Weise werden aus der Siliziumschicht 16 einzelne Strukturen 26 isoliert. Auf das Design derartiger Strukturen 26 soll - da bekannt - im Zusammenhang mit dieser Beschreibung nicht näher eingegangen werden.

Anschließend erfolgt eine Opferschichtätzung über die Trenchgräben 24 im Bereich der Isolationsschicht 12 und es wird ein Hohlraum 26 erzeugt (Fig. 5). Der Hohlraum 26 und die Trenchgräben 24 bilden zusammengefasst einen Sensorraum 28, in dem die Strukturen 26 untergebracht sind. Die Opferschichtätzung kann beispielsweise über einen HF-Dampfätzprozess oder aber auch trockene Opferschichtätzung mit Silizium als Opferschicht in Verbindung mit einem modifizierten Schichtsystem erfolgen. Die Lackmaske 22 wurde vor Abschluss der Opferschichtätzung entfernt. Im Falle einer trockenen Opferschichtätzung mit Silizium als Opferschicht wird die Maskierungsschicht 18 nach Abschluss der Opferschichtätzung entfernt.

Die gesamte Struktur wird in dem gemäß der Fig. 6 skizzierten Verfahrensschritt mit einem Oxid 30 auf Siliziumbasis, insbesondere einem CVD-Oxid oder einem porösen Oxid, aufgefüllt. Das vorzugsweise hochporöse Oxid 30 muss sich mit extrem hoher Ätzrate durch flusssäurehaltige Medien wieder entfernen lassen. Die Abscheidebedingungen für das Oxid 30 sind also so zu wählen, dass ein minderwertiges Oxid 30 mit hoher Porosität entsteht. Dies sind gleichzeitig die Abscheidebedingungen, unter denen mit möglichst hoher Rate abgeschieden wird, was den Vorteil kurzer Oxid-Depositionszeiten mit sich bringt. Die Parameter zur Gestaltung der Abscheidebedingungen derartiger minderwertiger Oxide mit hoher Porosität sind aus dem Stand der Technik bekannt. So lässt sich beispielsweise durch hohe Plasmaleistungen während der Deposition, während hoher Prozessdrücke und niedriger Substrattemperaturen (beispielsweise 200°C bis 300°C) die gewünschte Oxidschicht 30 abscheiden.

Der nächste Verfahrensschritt umfasst ein Rückdünnen des Oxids 30 auf die Höhe der Siliziumschicht 16 (Fig. 7), was beispielsweise durch Schleifen (CMP - chemical mechanical polishing) oder ein einschlägig bekanntes Rückätzverfahren erfolgen kann. Gemäß dem Ausführungsbeispiel wird das Oxid 30 bis zur Höhe der Schicht 16 abgetragen.

Nachfolgend wird eine Abscheideschicht 32, insbeson-

DE 199 61 578 A 1

7

dere aus Polysilizium, ganzflächig als eine Abscheideschicht abgeschieden (Fig. 8). Zur Vermeidung einer Verdichtung des hochporösen Oxids 30 ist es vorteilhaft, die Temperaturen bei dieser Deposition möglichst gering zu halten. Bei den für die Polysiliziumabscheidung üblichen Temperaturen von beispielsweise 600°C bis 650°C tritt noch keine wesentliche Verdichtung des Oxids 30 ein. Alternativ dazu ist es möglich, ein kurzes Erhitzen des Grundwafers 11 auf Temperaturen von über 1000°C durchzuführen, ohne das Oxid 30 zu verdichten, wenn dieses Erhitzen nur kurz geschieht (beispielsweise bei weniger als 10 min Dauer). Das Tempern der Abscheideschicht 32 kann vorteilhaft mit Hilfe eines RTP- oder RTA-Reaktors (RTP = rapid thermal processing/RTA = rapid thermal annealing) durchgeführt werden. Wird Epipolysilizium als Abscheideschicht 32 abgeschieden, so kann diese Abscheidung in einem Epitaxialreaktor mit hoher Abscheiderate von bis zu 1 µm/min durchgeführt werden, um die Abscheidezeiten kurz zu halten. Durch eine solche kurzzeitige hohe Temperaturbehandlung des Polysiliziums kann zum Beispiel erreicht werden, dass die Schicht 32 eine sehr hohe intrinsische Zugspannung von beispielsweise über 200 MPa/µm bis 1 GPa/µm Schichtdicke enthält, was für die Applikation der Schicht 32 als Abdeckung 13 sehr vorteilhaft ist. Infolge dieser hohen Zugspannung kann die Schicht 32 auch einem von außen angelegten hohen Druck standhalten, ohne sich stark nach innen zu verformen.

In einem sich anschließenden optionalen Prozessschritt kann die Abscheideschicht 32, beispielsweise durch Ätzung, strukturiert werden (Fig. 9). Letztendlich werden dann nur noch die Bereiche des Grundwafers 11 von der Abscheideschicht 32 bedeckt, unter denen sich später die mikromechanischen Strukturen 26 innerhalb des Sensorraumes 28 befinden sollen. Es ist auch möglich, die Abdeckung 13 unstrukturiert zu verwenden. In diesem Fall bedeckt die Abdeckung 13 die gesamte Wafeloberfläche. Der Vorteil dabei ist, dass eine planare Oberfläche des Wafers erhalten bleibt.

Durch selektive Ätzung des Oxids 30 unterhalb der Abscheideschicht 32 ist es möglich, die Strukturen 26 wieder freizulegen (Fig. 10). Notwendigerweise muss dazu die Abscheideschicht 32 durchlässig, permeabel für das verwendete Ätzmedium als auch für die während der Reaktion entstehenden Produkte sein. Beispielsweise kann dazu das Polysilizium der Abscheideschicht 32 mit kleinen Ätzöffnungen durch gezielte Ätzung in später noch näher zu erläuternder Art und Weise versehen werden. Je nach Art des verwendeten Ätzprozesses können dabei Ätzöffnungen mit Durchmessern von zirka 0,1 µm bis 5 µm erzeugt werden. Alternativ hierzu kann die Abscheideschicht 32 aus einem permeablen Polysilizium oder einem nachträglich durch Porosifizierung permeabel gemachten Polysilizium bestehen, das den Durchtritt des Ätzmediums beziehungsweise der Reaktionsprodukte ermöglicht. Im Zusammenhang mit Flusssäuredampfätzverfahren hat sich diese Variante als besonders vorteilhaft erwiesen, da der Flusssäuredampf besonders leicht Polysilizium durchdringen kann und Diffusionsvorgänge für die beteiligten Spezies durch das Polysilizium hindurch speziell bei erhöhten Temperaturen beschleunigt ablaufen. Die in-situ Permeabilität des Polysiliziums ist insbesondere bei niedrigen Dotierstoffkonzentrationen hoch, so lange eine langandauernde Hochtemperaturbehandlung (Tempern) vermieden wird. Es ist auch möglich eine Kombination aus HF-Flüssigphasenätzen und HF-Dampfätzen für die Entfernung der Opferschicht einzusetzen. Dabei wird in der Nassätzphase (HF-Lösung) zuerst der Großteil des Oxids 30 entfernt. In der anschließenden Dampfätzung wird ohne Stickingrisiko der Rest des Oxids 30 entfernt, so dass man einen insgesamt schnelleren Prozess erhält.

8

Nach dem Abschluss des Opferschicht-Ätzprozesses wird die Abscheideschicht 32 durch Abscheidung einer Abdichtungsschicht 34 hermetisch verschlossen (Fig. 11). Als besonders vorteilhaft hat es sich dabei erwiesen, eine Siliziumnitridschicht als Abdichtungsschicht 34 aufzubringen, da diese bereits bei relativ niedrigen Temperaturen von 300°C bis 400°C in PECVD-Prozessen abgeschieden werden können. Alternativ hierzu kann die Versiegelung auch durch Abscheidung von Metallen, wie beispielsweise Aluminium, erfolgen, wofür sich insbesondere Sputterprozesse eignen.

In Abhängigkeit von dem für die Abdichtungsschicht 34 gewählten Material kann anschließend eine Strukturierung der Abdeckung 13, beispielsweise mit Hilfe fotolithografischer Prozesse, erfolgen. Ist das gewählte Material ein Metall (Fig. 12), so können durch diese Strukturierungen gleichzeitig die Kontaktpads 36 gebildet werden. Im Falle eines dielektrischen Materials muss die Abdichtungsschicht 34 außerhalb des Verkappungsbereiches vollständig entfernt werden und die Kontaktpads 36 werden in einem gesonderten Verfahrensschritt auf der Siliziumschicht 16 beziehungsweise der Abscheideschicht 32 (falls diese ganzflächig unstrukturiert verwendet wird) aufgebracht (Fig. 13). Die gewählte Schichtdicke der Abdichtungsschicht 34 hängt im Wesentlichen von der Permeabilität, Porosität beziehungsweise von dem Durchmesser der Ätzöffnungen der Abscheideschicht 32 ab und selbstverständlich wird zum Verschließen der Ätzöffnungen eine dickere Abdichtungsschicht 34 benötigt.

Die Fig. 14 bis 16 zeigen eine alternative Prozessführung, beginnend mit der in der Fig. 8 gezeigten Deposition der Abscheideschicht 32. Zunächst wird in bereits erläuterter Weise das Oxid 30 durch die Abscheideschicht 32 weggeätzt (Fig. 14). Anschließend wird mittels der Abdichtungsschicht 34 der Sensorraum 28 hermetisch versiegelt (Fig. 15). Auch hier muss die Schichtdicke entsprechend den für den Durchtritt des Ätzmediums beziehungsweise der Reaktionsprodukte eingestellten Eigenschaften der Abscheideschicht 32 gewählt werden. Anschließend wird gemäß der Fig. 16 durch ein maskiertes Ätzverfahren sowohl die Abscheideschicht 32 als auch die Abdichtungsschicht 34 entfernt und die Kontaktpads 36 in bekannter Weise auf die Siliziumschicht 16 aufgebracht. Insgesamt kann damit eine Maskenebene eingespart werden, da die beiden Schichten 32, 34 mit ein und derselben Maske strukturiert werden. Im Falle der Verwendung von permeablen Polysilizium als Abscheideschicht 32 muss nach der Strukturierung noch ein ausreichender Überstand gewährleistet sein, damit eine Diffusion von Gasen über die Randbereiche unterbunden werden kann. In der Praxis hat es sich als ausreichend gezeigt, wenn die permeable Polysiliziumschicht mit der Epipolysiliziumschicht 16 um mindestens 50 µm überlappt.

In einer weiteren, bereits erwähnten vorteilhaften Ausführungsform unterbleibt die Strukturierung der Abscheideschicht 32 und der Abdeckungsschicht 34 bis zur beziehungsweise bis unmittelbar vor Abscheidung und Strukturierung der Metallpads 36 (siehe Fig. 32 bis 34, 34'). Erst unmittelbar vor Abscheidung der Metallisierung 36 wird eine Ätzung der Abdichtungsschicht 34 unmittelbar im Bereich der Bondpads und um diese herum vorgenommen, um die Bondbereiche frei von isolierenden Schichten zu machen. In besonders vorteilhafter Ausführungsform dient die Metallschicht 36 für die Bondpads gleichzeitig auch als Abdichtungsschicht 34. Im letzteren Fall muss folglich die Abdichtungsschicht 34 nach deren ganzflächiger Abscheidung um die Bondpads herum geöffnet werden, um dort ein Durchätzen der Abscheideschicht 32 und damit die Erzeugung elektrisch isolierter Kontaktpads 36 zu ermöglichen.

In einer weiteren Variante ist auch die Epipolysilizium-

DE 199 61 578 A 1

9

schicht 16 im Bereich der Kontaktpads 36 zunächst noch nicht durchgeätzt, sondern dort noch ganzflächig vorhanden. Bei der Herstellung der Sensorstrukturen 26 durch anisotropes Tiefenätzen werden also die Bondbereiche zunächst ausgespart. Erst beim Freitätzen der Kontaktpads 36, das heißt auch Durchätzen der Abscheideschicht 32 und der Abdichtungsschicht 34, falls diese nicht identisch zur Metallisierungsschicht der Kontaktpads 36 ist, wird die Epipolysiliziumschicht 16 um die Bondpads herum bis zum vergrabenen Oxid 12 durchgeätzt. Dabei kann derselbe Tiefenätzprozess sowohl für die Siliziumschicht 32 als auch für die Epipolysiliziumschicht 16 verwendet werden. Es findet also ein "Doppeltrench"-Prozess statt, bei dem ein erster Tiefentrench für die Sensorstrukturen 26 selbst und ein zweiter Tiefentrench für die Bondpadbereiche später im Prozessfluss durchgeführt wird. In beiden Varianten erfolgt der elektrische Anschluss der Sensorstrukturen 26 über die Kontaktpads 36 durch die Abscheideschicht 32 und die Schicht 16 hindurch. Die Abscheideschicht 32 muss also eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit aufweisen, um den flächigen elektrischen Kontakt zu ermöglichen, was aber in der Praxis mittels einer ausreichenden Dotierung selbst bei dickeren Abscheideschichten 32 kein Problem darstellt. Die vorgenannten Varianten lassen sich zur Verdeutlichung den Zeichnungen 32 bis 34, bei der ein Metall als Versiegelung und Bondpad eingesetzt wird, beziehungsweise der Zeichnung 34', bei der ein Dielektrikum als Versiegelung und Metall als Bondpad verwendet wird, entnehmen.

Die in den Fig. 15 beziehungsweise 11 skizzierten Prozessschritte, in denen die Abdichtungsschicht 34 aufgebracht wird, lassen sich besonders vorteilhaft zur Einstellung eines gewünschten Innendrucks innerhalb des Sensorraumes 28 nutzen. Der einstellbare Druckbereich liegt dabei bei Drücken von wenigen Mikropascal bis zu Atmosphärendruck. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Verfahren kann durch das sehr rasche Versiegeln die Toleranz bei der Druckeinstellung relativ gering gehalten werden. Zur Einstellung des Druckes kann wie folgt vorgefahren werden:

In einer Ausführungsform mit permeabler Abscheideschicht 32 (in-situ permeabel oder nachträglich porös gemacht, um Permeabilität zu erzeugen) wird nach dem Einbringen des bis zum Aufbringen der Abdichtungsschicht 34 bereits fertig prozessierten Grundwafers 11 in eine Prozesskammer zur Deposition der Abdichtungsschicht 34 zunächst auf eine Temperatur zwischen 300°C bis 450°C erhitzt und gleichzeitig anstelle von Prozessgasen ein Inertgas unter einem gegebenen Druck der Prozesskammer zugeführt. Als Inertgas eignet sich beispielsweise Helium, da dies besonders rasch durch die in-situ permeabel oder durch Porosifizierung permeabel gemachte Abscheideschicht 32 diffundieren kann, damit eine schnelle Gleichgewichtseinstellung (Innendruck Außendruck) sensorseitig möglich ist. Erst anschließend werden die für die Deposition der Abdichtungsschicht 34 notwendigen Prozessgase zugeführt und das Depositionsplasma gezündet. Bei Verwendung permeablen Polysiliziums (in-situ permeabel oder durch Porosifizierung permeabel gemacht) vergehen in der Zeit zwischen dem Verlassen des gewünschten abzuschließenden Druckes in der Prozesskammer und der Deposition einer ausreichend dicken Abdichtungsschicht 34 nur wenige Sekunden.

Bei bekannter Schichtdicke und Permeabilität der Abscheideschicht 32 ist die in dieser Zeit zu erwartende Druckänderung berechenbar, so dass entsprechende Vorhalte eingeplant werden können. Es ist außerdem möglich, den Depositionsdruck zunächst beim für die Verkappung gewünschten eingeschlossenen Druck zu belassen und den Depositionsprozess bereits frühzeitig noch in Gegenwart des Inertgases zu starten. Erst nach Initiierung des Depositions-

10

prozesses wird der Kammerdruck in den für die Deposition eigentlich optimalen Druckbereich nachgeregelt. Dadurch verläuft der Depositionsprozess zwar über einige Sekunden nicht optimal und gelangt erst nach der erfolgten Druckanpassung in seinen günstigsten Arbeitsbereich, andererseits wird bei dieser Vorgehensweise aber die Zeit zwischen dem Verlassen des Verkappungsdruckes und der erfolgten hermetischen Abdichtung des Sensorelementes verkürzt. Zur experimentellen Bestimmung des eingeschlossenen Druckes und zur Verfahrenskontrolle kann die Membranverwölbung, beispielsweise interferometrisch, ausgewertet werden oder Güteparameter der eingeschlossenen Strukturen 26 durch resonante Anregung ermittelt werden. Eine Qualitätskontrolle für das Verfahren ist somit in einfacher Weise möglich.

Als besonders günstig hat es sich erwiesen, diese Prozessführung für die Herstellung oberflächenmikromechanischer kapazitiver Drucksensoren zu nutzen. So zeigen die Fig. 17 und 18 beziehungsweise 19 und 20 zwei mögliche Ausführungsformen derartiger Drucksensoren. Zunächst wird gemäß den Fig. 17 und 19 wieder eine permeable oder nachträglich durch Ätzen permeabel gemachte Schicht 32 – gegebenenfalls strukturiert – oberhalb des mit dem Oxid 30 gefüllten Sensorraumes 28 abgeschieden. Anschließendes Ausätzen des Oxids 30 und Versiegeln mit der Abdichtungsschicht 34 führt zu den in den Fig. 18 und 20 gezeigten Applikationsformen.

Im ersten Fall wird in dem Drucksensor eine Torsionswippe 39, die über ein Kupplungselement 42 mit der Abdeckung 13 verbunden ist, implementiert. Dabei ist eine seismische Masse 38 symmetrisch über Torsionsfedern 40 mittig zu beiden Seiten aufgehängt – analog einer Hebelwaage. Die Masse 32 ist für die Durchführung der Opferschichtätzung perforiert, wobei die Perforation hier nicht eingezeichnet ist. Nach der Abscheidung und Planarisierung des Oxids 30 wird etwas außerhalb der Mitte der Torsionswippe 39 ein Loch in das Oxid 30 eingebracht mittels Fototechnik und Ätzen des Oxids 30. Darüber kann zum Beispiel einfach die Abscheideschicht 32 vorteilhaft als permeable Polysiliziumschicht abgeschieden und/oder nachträglich durch Ätzprozesse, zum Beispiel Porosifizierung, permeabel gemacht werden, welche im zuvor angelegten "Kontaktloch" im Oxid 30 das Silizium der Wippe 39 direkt mechanisch und elektrisch kontaktiert. Wird später eine elektrische Isolation der Sensormembran von der Torsionswippe 39 gewünscht, beispielsweise aus Gründen der elektrischen Abschirmung gegenüber der Umgebung, so kann vor der Polysiliziumabscheidung eine isolierende Schicht abgeschieden werden, welche von der nachfolgend zur Opferoxidätzung eingesetzten HF-Dampfchemie nicht angegriffen wird. Hierzu eignet sich beispielsweise eine Schicht von amorphen Siliziumkarbid, welches resistent gegenüber flusssäurehaltigen Medien und auch HF-Dampf ist. Diese Schicht kann nach der konformen Abscheidung über dem Kontaktloch im Oxid entweder durch einen maskierten Ätzprozess so strukturiert werden, dass nur das Kupplungselement 42 übrig bleibt, oder aber derart bearbeitet werden, dass nach einem Schleifprozess das Kupplungselement 42 eingeschlossen vom Oxid 30 erhalten bleibt. Selbstverständlich kann in diesem Fall die Prozessreihenfolge auch reversiert werden, das heißt zuerst Anlegen des Kupplungselementes 42 (beispielsweise aus amorphen Siliziumkarbid), dann Abscheiden und Planarisieren des Pfüloxids und dann Abscheiden und Planarisierung der gesamten Abdeckung 13 unter Berücksichtigung der vorab gemachten Druckeinstellungsprozessparameter.

Durch die beiden Herstellungsvarianten des Kupplungselementes 42 – der einfachen Polysiliziumabscheidung mit mechanischer Verbindung über das Polysilizium, welches selbstständig das Kontaktloch im Oxid 30 auffüllt und so

DE 199 61 578 A 1

11

den Kraftschluss mit der Wippe 39 herstellt, oder der expliziten Abscheidung und Herstellung eines elektrisch isolierten Kupplungselementes 42 mittels einer Zusatzschicht – wird eine mechanische Verbindung geschaffen zwischen der Abdeckung 13 und der Torsionswippe 39.

Aufgrund der Biegeform der druckbeaufschlagten Abdeckung 13 ist es vorteilhaft, das Kupplungselement 42 zwischen Torsionsachse und Deckplattenmitte zu plazieren, also zum Beispiel – wie in den Abb. 17, 18 erkennbar – rechts von der Torsionsachse der Wippe 39 und links von der Membranmitte. Wird die Membran nämlich druckbeaufschlagt, stellt sich eine Biegelinie als Doppel-S-Form ein, welche die rechte Hälfte der Wippe 39 nach unten drückt, entsprechend kommt die linke Hälfte der Wippe 39 nach oben. Bei Vorliegen zweier Gegenelektroden (aus der Leitschicht 14 strukturiert) unterhalb der Wippe 39 kann die Kapazitätsänderung als Differenzkapazität mittels einer geeigneten Auswertelektronik verarbeitet werden. Die elektrische Verdrehung des Sensorbauelementes geschieht in der unteren Ebene durch die dort vergrabene leitende Schicht 14. Ein solcher Sensor nach dem beschriebenen Aufbau weist aufgrund seiner Symmetrie und der kapazitiven Auswertung durch Differentialkondensatoranordnung eine vorteilhaft geringe Temperaturdrift auf, so dass ein teurer Abgleich und Temperaturkompensation entfallen können.

Wird auf die explizite Differentialkondensatoranordnung verzichtet, bietet sich ein einfacher Prozess und ein Design nach Art der Fig. 19 und 20 an. Die seismische Masse 44 ist direkt an die Abscheideschicht 32 gebunden. Ebenfalls kann über die vorstehend beschriebene Art und Weise ein Referenzdruck, bevorzugterweise mittels Heliumgas, im Sensorraum 28 eingeschlossen und die Struktur durch Abscheidung der Abdichtungsschicht 34 hermetisch versiegelt werden.

Wird die Struktur druckbeaufschlagt, wird die Masse 44 nach unten gedrückt, so dass sich der Abstand zu der darunter liegenden leitenden Schicht 14, die als Gegenelektrode fungiert, verkleinert und dementsprechend tritt eine Kapazitätsänderung ein. Der elektrische Anschluss und die Ausführung der Gegenelektrode kann wiederum über die Schicht 14 erfolgen und nach außen geführt werden. Man erhält somit einen einfachen, robusten, kapazitiven Drucksensor in Oberflächenmikromechanik. Die standardmäßig für Beschleunigungssensoren entwickelte Auswertelektronik kann weiter verwendet werden, wenn eine Differentialkondensatoranordnung durch einen der Messkapazität extern zugeschalteten Festwertkondensator realisiert wird.

Die Durchlässigkeit, das heißt Permeabilität der Abscheideschicht 32 für das Arbeitsmedium und die entstehenden Reaktionsprodukte kann auch nach Deposition der Schicht 32 im Nachhinein erzwungen werden. Ein erstes Verfahren dieser Art ist in den Fig. 21 bis 23 skizziert, bei denen ein elektrochemischer Ätzzvorgang zur Umwandlung von Silizium in (permeables) poröses Silizium im Vordergrund steht. Zunächst wird – wie bereits beschrieben – bis einschließlich der Deposition der Abscheideschicht 32 verfahren. Anschließend wird eine geeignete Maskierschicht 46 aufgebracht (Fig. 21) und in bekannter Weise, beispielsweise durch einen zusätzlichen Lithografenschritt strukturiert, so dass ein Bereich 48, in dem die Eigenschaften der Schicht 32 geändert werden sollen, zugänglich ist (Fig. 22).

Der eigentliche elektrochemische Ätzzvorgang wird in Gegenwart eines HF-Elektrolyten, beispielsweise einem Flußsäure-Ethanol-Gemisch, durchgeführt und führt zur Bildung poröser Strukturen beziehungsweise Ätzzöffnungen in den dem Elektrolyten ausgesetzten Bereichen 48 der Schicht 32.

Es hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, bei den elektrochemischen Ätzzvorgängen der gezeigten Art zusätz-

12

lich eine Bestrahlung der Oberfläche in einem Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1000 nm, insbesondere bei 350 nm bis 800 nm, durchzuführen, da dadurch die Homogenität des Prozesses verbessert wird. Ein elektrischer Anschluss durch Anlegen eines anodischen Potentials kann zum einen über die Oberseite der Schicht 32 und zum anderen von der Epipolysiliziumschicht 16 beziehungsweise dem Grundwafer 11 (Rückseitenkontakt) aus über die Unterseite der Schicht 32 erfolgen. Der großflächige Rückseitenkontakt über den Grundwafer 11 hat den Vorteil, dass damit eine definiertere und homogenere Stromdichteverteilung des Anodisierungsstroms erreicht wird, da der Strom insgesamt nur maximal die Dicke des Grundwafers 11 überwinden muss, um in den zu behandelnden Bereich 48 zu gelangen. Zweckmäßigerweise ist eine hohe n-Dotierung der Schichten des Grundwafers 11 – vor allem der Waferunterseite des Substrates (10) – vorgesehen (n^{++}), was besonders einfach durch POCL-Deposition und anschließendes Eintreiben von Phosphor ins Silizium, aber auch durch Ionenimplantation von Phosphor, Arsen oder Antimon ermöglicht wird. Die n^{++} -Dotierung der Waferrückseite des Grundwafers 11 reduziert die im Kontaktbereich Elektrolyt/Silizium vorliegende Schottky-Barriere. Eine angepasste Dotierung der Schicht 32 in dem zu verändernden Bereich 48 kann zur Prozesssteuerung genutzt werden. So hat es sich gezeigt, dass eine p-Dotierung zur Bildung mesoporöser Poren führt, während eine n-Dotierung zu Ätzzöffnungen von einigen 10 nm bis Mikrometern führt.

Alternativ zu dem elektrochemischen Ätzzverfahren kann, wie in den Fig. 24 bis 27 in exemplarischen Ausführungsformen dargestellt, verfahren werden. Zunächst wird die noch nicht genügend durchlässige Schicht 32 aufgebracht und anschließend unter Verwendung bekannter Maskierungsverfahren eine Metallschicht abgeschieden und strukturiert. Bei der anschließenden galvanischen Herstellung von porösem Polysilizium im Bereich 48 übernimmt die Metallschicht somit gleichzeitig die Funktion einer Maskierung der Silizium-Oberfläche der Schicht 32 in den Bereichen, die nicht elektrochemisch anodisiert werden sollen, und einer Kathode in der galvanischen Zelle Silizium/Elektrolyt/Metall. Über die Zusammensetzung des HF-Elektrolyten und die auftretende Stromdichte in dieser galvanischen Zelle lassen sich die Prozesse steuern, die zur Bildung des porösen Polysiliziums führen. Die Stromdichten sind abhängig vom Flächenverhältnis Metall/Silizium. Je größer die Metallfläche, desto größer ist die Stromdichte. Übliche Metall-Silizium-Flächenverhältnisse liegen zwischen 10 bis 20 zu 1. Der Vorteil dieser Technik ist es, dass keine elektrische Kontaktierung des Wafers notwendig ist.

Um diese Verhältnisse zu realisieren, können Teile der Metallfläche den zu porosifizierenden Bereich 48 der Abdeckung 13 mit einem Gitter überdecken. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Breite der Metallbahnen größer ist als die Dicke der zu ätzenden Schicht 32, da sonst zu große Unterätzungen und Ablösungserscheinungen des Metalls auftreten können. Eine Auswahl möglicher Ausführungsformen ist den Draufsichten und Schnittbildern der Fig. 24 bis 27 zu entnehmen.

Ferner ist denkbar, mit einem modifizierten Stain-Etch-Verfahren die zu porosifizierenden Bereiche 48 mit einem Gemisch aus Flußsäure, Salpetersäure und Wasser zu behandeln. Alle anderen Bereiche müssen mit einer geeigneten Maskierschicht, beispielsweise aus Siliziumnitrid, geschützt werden. Über die Zusammensetzung, insbesondere die Salpetersäurekonzentration, und die Expositionszeiten lassen sich Porosität und Schichtdicke des veränderten porösen Siliziumbereichs steuern. Darüber hinaus besteht ein empirisch erfassbarer Einfluss von Dotierungen, so dass eine

DE 199 61 578 A 1

13

Steuerung des die Porosität erzeugenden Prozesses möglich ist.

Eine weitere alternative Ausführungsform der Dünnschicht-Sensorkappe, bei der an der Unterseite der Abscheideschicht 32 Stützelemente 50 vorhanden sind, ist den Fig. 28 bis 31 zu entnehmen. Bis zur Abscheidung des Oxids 30, wie in der Fig. 6 dargestellt, kann auf das eingangs beschriebene Verfahren zurückgegriffen werden. Auf eine vollständige Planarisierung der Oxidschicht 30 bis auf die Höhe der Epipolysiliziumschicht 16 wird allerdings verzichtet. Anstelle dessen erfolgt eine strukturierte Abtragung, bei der in den Bereichen, die später die Stützelemente 50 ausbilden sollen, das Oxid 30 entfernt wird. Diese Bereiche liegen sinnvollerweise oberhalb der Bereiche der Epipolysiliziumschicht 16, die in den sich anschließenden Ätzverfahren nicht weiter angegriffen werden sollen.

Die einzelnen Stützelemente 50 sind üblicherweise umlaufende Stützstreben oder Stützsäulen, die somit den Sensorraum 28, der von der Abdeckung 13 abgedeckt wird, begrenzen. Innerhalb des Sensorraumes 28 befinden sich die notwendigen mikromechanischen Strukturen 26. Gemäß der Fig. 28 können geringe Abstände der Stützelemente 50 und damit Spannweiten der Abdeckung 13 verwirklicht werden. So sind Spannweiten unterhalb von 10 µm realisierbar. Damit einhergehend ist aber auch eine geringere Durchbiegung bei der Beaufschlagung mit einem Überdruck verbunden und es kann ein Abstand der Abdeckung 13 und des Sensorelementes soweit verringert werden, dass ein Herausheben der Sensorstruktur 26 bei mechanischer Überlastung verhindert wird. Da der bei den herkömmlichen Sensoren notwendige Bondrahmen drastisch verkleinert werden kann, tritt zusätzlich eine erhebliche Flächenreduzierung auf, so dass mehr als doppelt so viele Beschleunigungssensoren auf einen Grundwafer 11 prozessierbar sind. Die Fig. 31 zeigt hierzu eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung mit T-förmigen Stützelementen 50, die zu besonders stabilen Strukturen führt.

Für den Fall, dass anstelle eines permeablen Polysiliziums als Abscheideschicht 32 nachträgliche Ätzöffnungen 52 eingebracht werden sollen, über die das Opferoxidätzen stattfindet, hat sich das in der Fig. 29 dargestellte Design als vorteilhaft erwiesen. Die Ätzöffnungen 52 sind dabei derart angeordnet, dass bei der Deposition der Abdichtungsschicht 34 allenfalls die nicht funktionsbegründenden Strukturelemente 53 des Sensors dem Depositionsplasma ausgesetzt sind. Diese nicht funktionsbegründenden Strukturelemente 53 sind eben genau die Elemente, die mit den Stützelementen 50 verbunden sind. Gegebenenfalls können über die Ätzöffnungen 52 nach der Opferätzung auch geeignete Antihafschichten im Bereich der Strukturen 26 abgeschieden werden.

Ein Sensor entsprechend der Fig. 30 lässt sich mit Hilfe der vorab geschilderten Prozessschritte verwirklichen. Neben der bereits in der Beschreibung der Fig. 15 und 16 beschriebenen Möglichkeit, die Abscheideschicht 32 sowie die Schicht 34 gleichzeitig zu strukturieren beziehungsweise die Strukturierung der Abscheideschicht 32 zunächst zu unterlassen, diese zunächst ganzflächig zu belassen und erst zuletzt zur Anlage elektrisch isolierter Kontaktpads 36 zuätzen, kann hierzu ergänzend auch die darunter liegende Epipolysiliziumschicht 16 bearbeitet werden, so dass sich die Öffnung 54, über die später eine Kontaktierung erfolgen kann, mit einem Prozessschritt erzeugen lässt. Bei einer elektrochemischen Ätzung erfolgt wiederum Kontaktierung über die Rückseite des Wafers. Hierbei sind die Schichten über die Stützelemente 50 elektrisch verbunden, so dass eine bevorzugt hohe Permeabilität im Bereich der Stützelemente 50 durch Bildung von porösem Silizium eingestellt wird.

14

Diese elektrische Kontaktierung der Schicht 32 kann auch neben dem Sensorbereich 28 zum Substrat 10 hin erfolgen.

Patentansprüche

1. Sensor mit zumindest einer mikromechanischen Struktur auf Siliziumbasis, die in einem Sensorraum eines Grundwafers integriert ist, und zumindest einer den Grundwafer im Bereich des Sensorraumes abdeckenden Abdeckung, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdeckung (13) aus einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte durchlässigen ersten Schicht (32) (Abscheideschicht) und einer darüber liegenden hermetisch dichtenden zweiten Schicht (34) (Abdichtungsschicht) besteht.
2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideschicht (32) im Bereich des Sensorraumes (28) permeabel für das Ätzmedium und die Reaktionsprodukte ist.
3. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideschicht (32) im Bereich des Sensorraumes (28) Ätzöffnungen (52) aufweist.
4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ätzöffnungen (52) einen Durchmesser von 0,1 bis 5 µm haben.
5. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideschicht (32) an ihrer Unterseite Stützelemente (50) aufweist, die eine Verbindung zwischen dem Grundwafer (11) und der Abdeckung (13) schaffen.
6. Sensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Stützelemente (50) parallel zur Struktur (26) angeordnete Stützstreben sind, die den Sensorraum (28) umlaufen und deren Abstand in einem Bereich von 5 bis 1000 µm liegt.
7. Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Stützelemente (50) umlaufende Stützstreben oder Stützsäulen sind.
8. Sensor nach den Ansprüchen 3 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Ätzöffnungen (52) im Bereich der Stützelemente (50) angeordnet sind, so dass eine direkte Exposition der Struktur (26) mit dem die Abdichtungsschicht (34) bildenden Material bei dessen Deposition vermieden wird und die Stabilität der Abscheideschicht (32) erhalten bleibt.
9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideschicht (32) aus Polysilizium ist.
10. Sensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Abscheideschicht (32) in Bereiche hoher, niedriger oder fehlender Porosität unterteilt ist, wobei die Bereiche hoher Porosität weitestgehend oberhalb der Sensorräume (28) liegen.
11. Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Abscheideschicht (32) in Bereichen mit niedriger oder fehlender Porosität eine metallische Maskierungsschicht, insbesondere aus einem Metall, das edler als Silizium ist, aufgebracht ist.
12. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdichtungsschicht (34) ein Isolator, insbesondere aus Siliziumnitrid oder Siliziumoxid, ist.
13. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdichtungsschicht (34) aus Metall, insbesondere aus Aluminium, besteht.
14. Sensor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur (26) im Sensorraum (28) mit einer Antihafschicht bedeckt ist.

DE 199 61 578 A 1

15

15. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein Beschleunigungssensor oder Drehratensensor ist.
16. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor ein kapazitiver Drucksensor ist.
17. Sensor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem kapazitiven Drucksensor eine seismische Masse (38, 44) direkt oder über ein Kupplungselement (42) an die Abdeckung (13) gebunden ist.
18. Verfahren zur Herstellung eines Sensors mit zumindest einer mikromechanischen Struktur auf Siliziumbasis, die in einem Sensorraum eines Grundwafers integriert ist, und einer den Grundwafer zumindest im Bereich des Sensorraumes abdeckenden Abdeckung, dadurch gekennzeichnet, dass
- (a) zumindest der im Grundwafer (11) nach Bildung der Struktur (26) vorhandene Sensorraum (28) mit einem Oxid (30), insbesondere CVD-Oxid oder poröses Oxid, gefüllt wird,
 - (b) der Sensorraum (28) mit einer für ein Ätzmedium und die Reaktionsprodukte transparenten oder nachträglich transparent gemachten ersten Schicht (32) (Abscheideschicht), insbesondere aus Polysilizium, bedeckt wird,
 - (c) das Oxid (30) in dem Sensorraum (28) durch die Abscheideschicht (32) hindurch mit dem Ätzmedium entfernt wird und
 - (d) anschließend eine zweite Schicht (34) (Abdichtungsschicht), insbesondere aus Metall oder einem Isolator, auf die Abscheideschicht (32) aufgebracht wird, die den Sensorraum (28) hermetisch abdichtet.
19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Aufbringen der Abscheideschicht (32) das Oxid (30) in Bereichen außerhalb des Sensorraumes (28) durch Ätzen oder Schleifen, insbesondere CMP-Schleifen, entfernt wird (Planarisierung der Oberfläche des Grundwafers).
20. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Aufbringen der Abscheideschicht (32) das Oxid (30) in Bereichen außerhalb des Sensorraumes (28) durch maskiertes Ätzen strukturiert wird (Strukturieren der Oberfläche des Grundwafers).
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Oxid (30) in Bereichen, in denen ein Stützelement (50) an der Unterseite des Kappenbereiches als Bindeglied zwischen Grundwafer (11) und Abdeckung (13) vorgesehen ist, entfernt wird.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass in die Abscheideschicht (32) durch Ätzen, insbesondere durch maskiertes Plasmaätzen, Ätzöffnungen mit einem Durchmesser von 0,1 bis 5 µm eingebracht werden.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Permeabilität der Abscheideschicht (32) durch einen elektrochemischen Ätzvorgang, indem beispielsweise als Elektrolyt ein Flusssäure-Ethanol-Gemisch dient, erzwungen wird.
24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberseite der Abscheideschicht (32) mit einer Maskierschicht (46) bedeckt wird, die in den zu porosifizierenden Bereichen (48) entfernt wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass ein elektrischer Anschluss durch Anlegen eines anodischen Potentials an eine Oberseite der Abscheideschicht (32) erfolgt.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 oder 24,

16

- dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Anschluss durch Anlegen eines anodischen Potentials an eine Unterseite der Abscheideschicht (32) über eine tiefer liegende Schicht des Grundwafers (11) oder den Grundwafer (11) selbst erfolgt.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass über eine Dotierung der Abscheideschicht (32) die Permeabilität beeinflusst wird.
28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass eine p-Dotierung der Abscheideschicht (32) zur Erzeugung mesoporöser Poren genutzt wird.
29. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass eine n-Dotierung der Abscheideschicht (32) zur Erzeugung von Ätzöffnungen (52) mit einem Durchmesser von einigen 10 Nanometern bis maximal 10 µm genutzt wird.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Permeabilität der Abscheideschicht (32) durch ein maskiertes Stain-Etch-Verfahren erzwungen wird.
31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass das Stain-Etch-Verfahren mittels einer Mischung aus Flusssäure, Salpetersäure und Wasser erfolgt und über die Mischverhältnisse und die Expositionszeiten die Porosität und die Äztiefe der porösen Schicht in die Abscheideschicht (32) eingestellt wird.
32. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Permeabilität der Abscheideschicht (32) durch ein galvanisches Verfahren erreicht wird, indem eine Metallschicht in dem nicht zu verändernden Bereich aufgebracht wird (Maskierung), und dass während des anschließenden galvanischen Prozesses an einer Grenzfläche zwischen HF-Elektrolyt und der unmaskierten Abscheideschicht (32) eine Ätzung erfolgt in Abhängigkeit von einer Stromdichte und/oder eines Flächenverhältnisses Metall/Silizium und/oder einer Elektrolytzusammensetzung.
33. Verfahren nach einem der Ansprüche 23, 30 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich während des Ätzvorganges eine Bestrahlung in einem Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1000 nm, bevorzugt zwischen 350 nm bis 800 nm, stattfindet.
34. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Abdichtungsschicht (34) durch ein maskiertes Ätzverfahren strukturiert wird.
35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass das maskierte Ätzverfahren eine Strukturierung der Abscheideschicht (32) umfasst.
36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das maskierte Ätzverfahren zusätzlich eine Strukturierung einer oberen Schicht des Grundwafers (11), insbesondere aus Epipolysilizium, umfasst.
37. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass über die Druckbedingungen während der Deposition der Abdichtungsschicht (34) der Druck innerhalb des Sensorraumes (28) eingestellt wird.
38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Deposition der Abdichtungsschicht (34) der Druck innerhalb des Sensorraumes (28) durch Beaufschlagung mit einem Inertgas, insbesondere Helium, bei einer vorgegebenen Temperatur eingestellt wird.
39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die Deposition der Abdichtungsschicht (34) bereits in einer inertgashaltigen Atmosphäre star-

DE 199 61 578 A 1

17

18

tet und allmählich die optimalen Betriebsparameter für
ein Depositionsplasma eingestellt werden.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

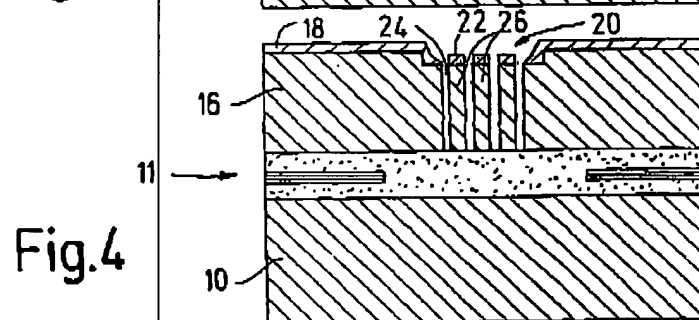
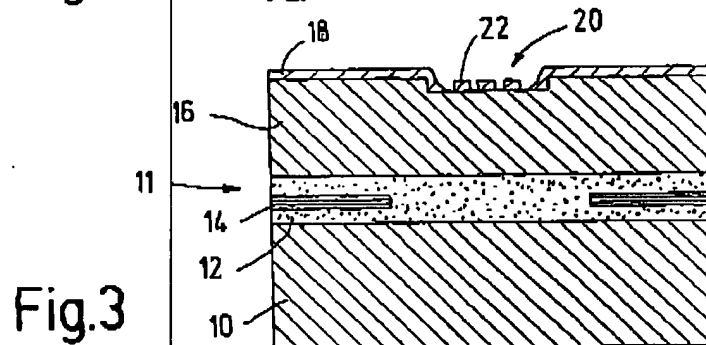
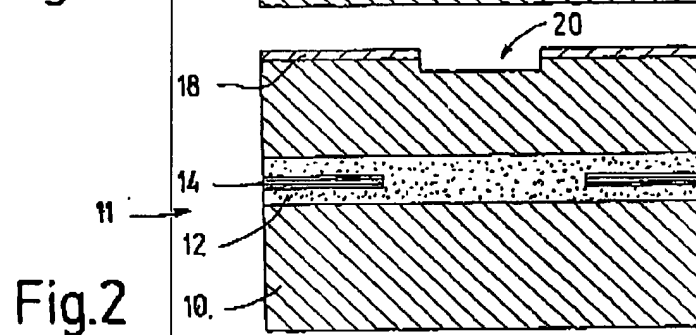
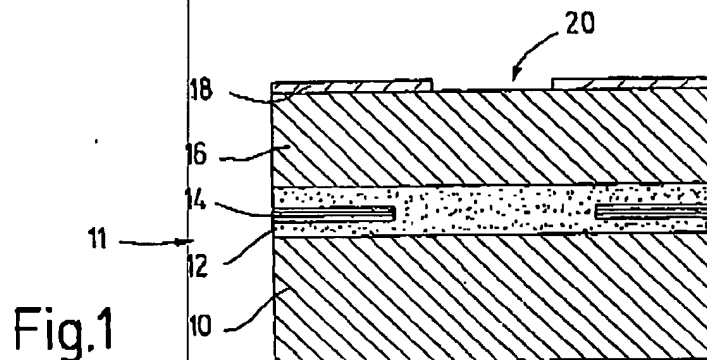
60

65

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

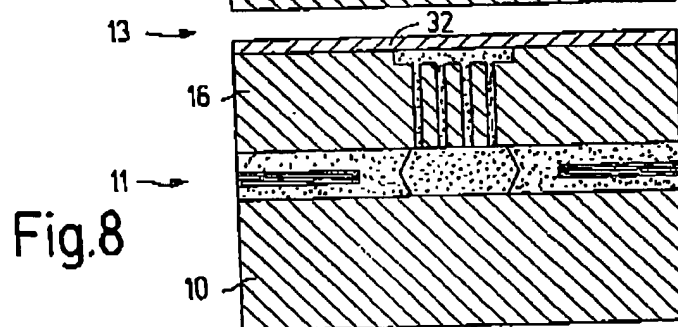
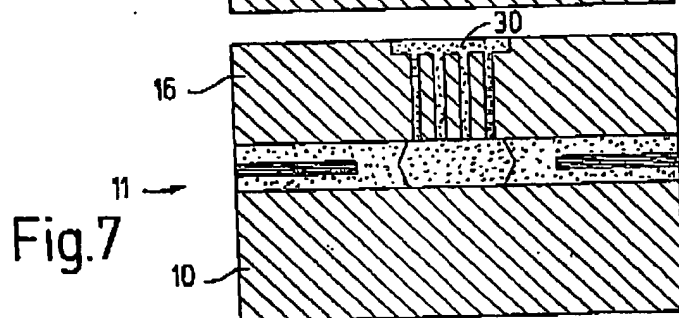
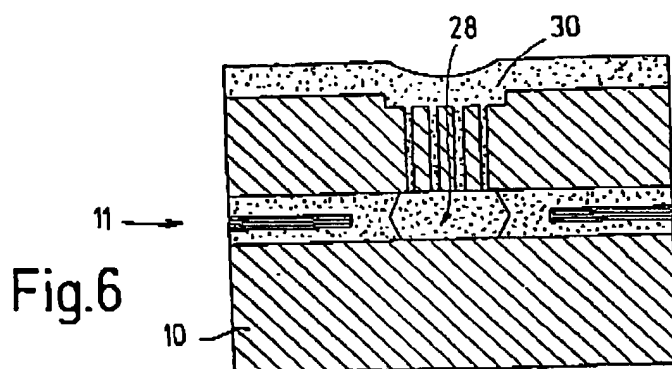
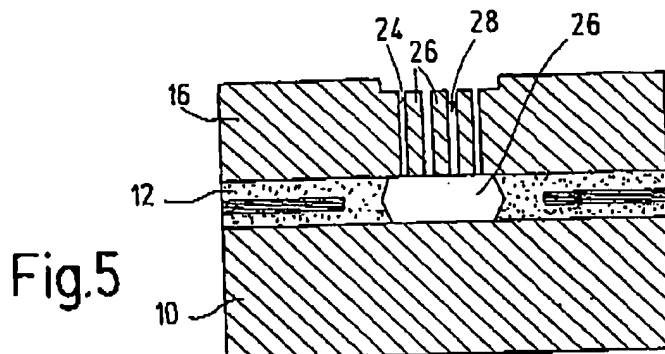


102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 61 B 3/00
28. Juni 2001

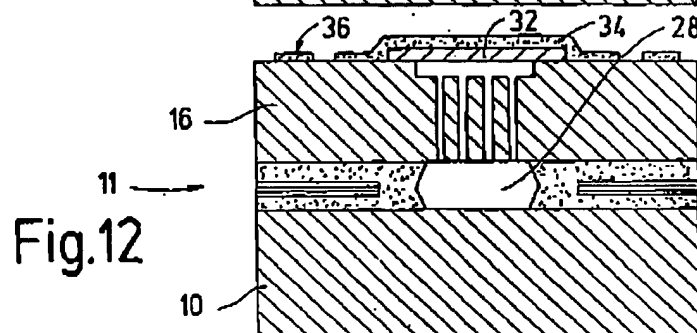
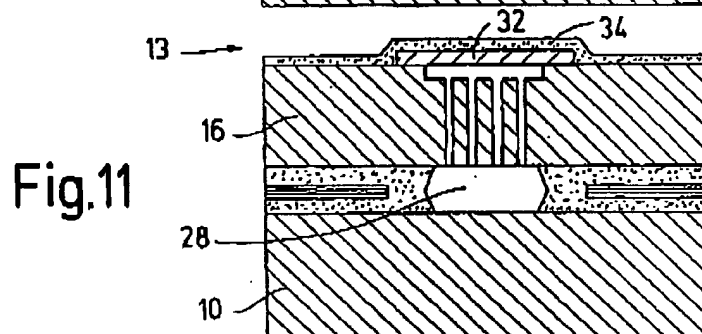
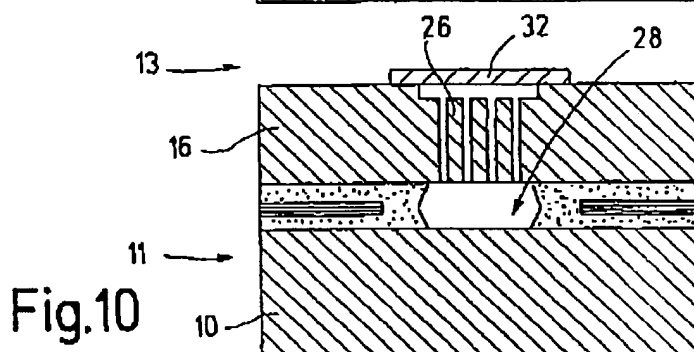
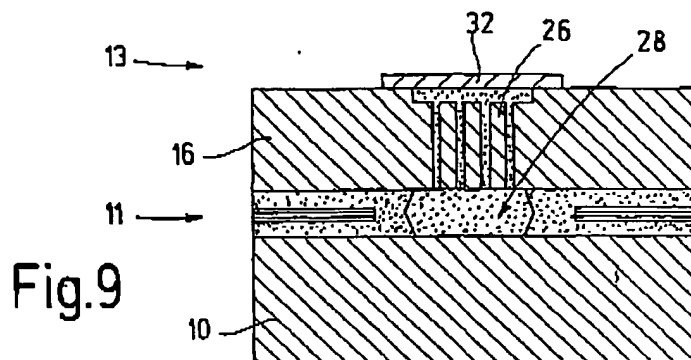


102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 3

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

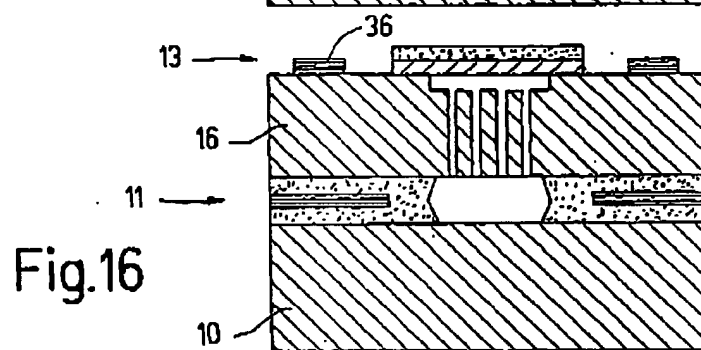
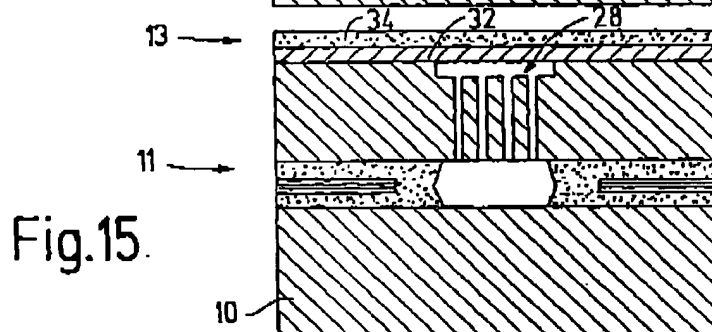
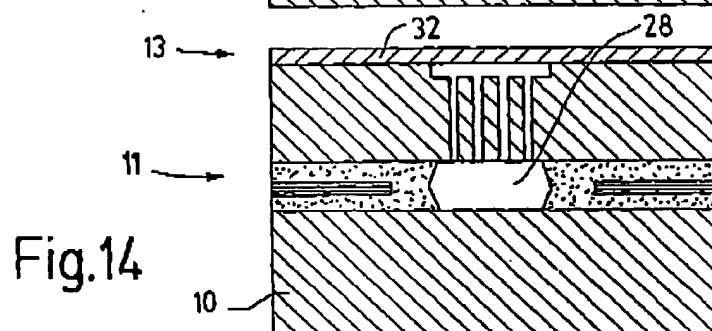
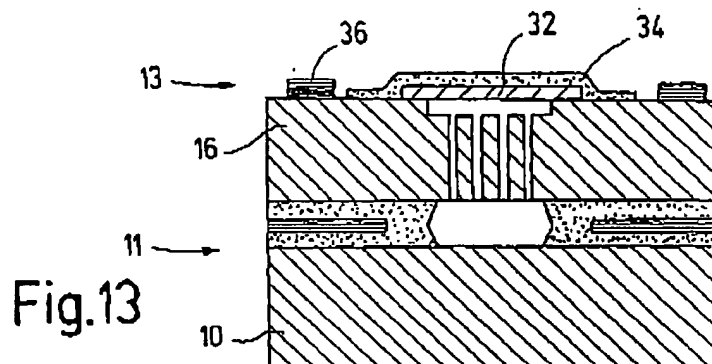


102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 4

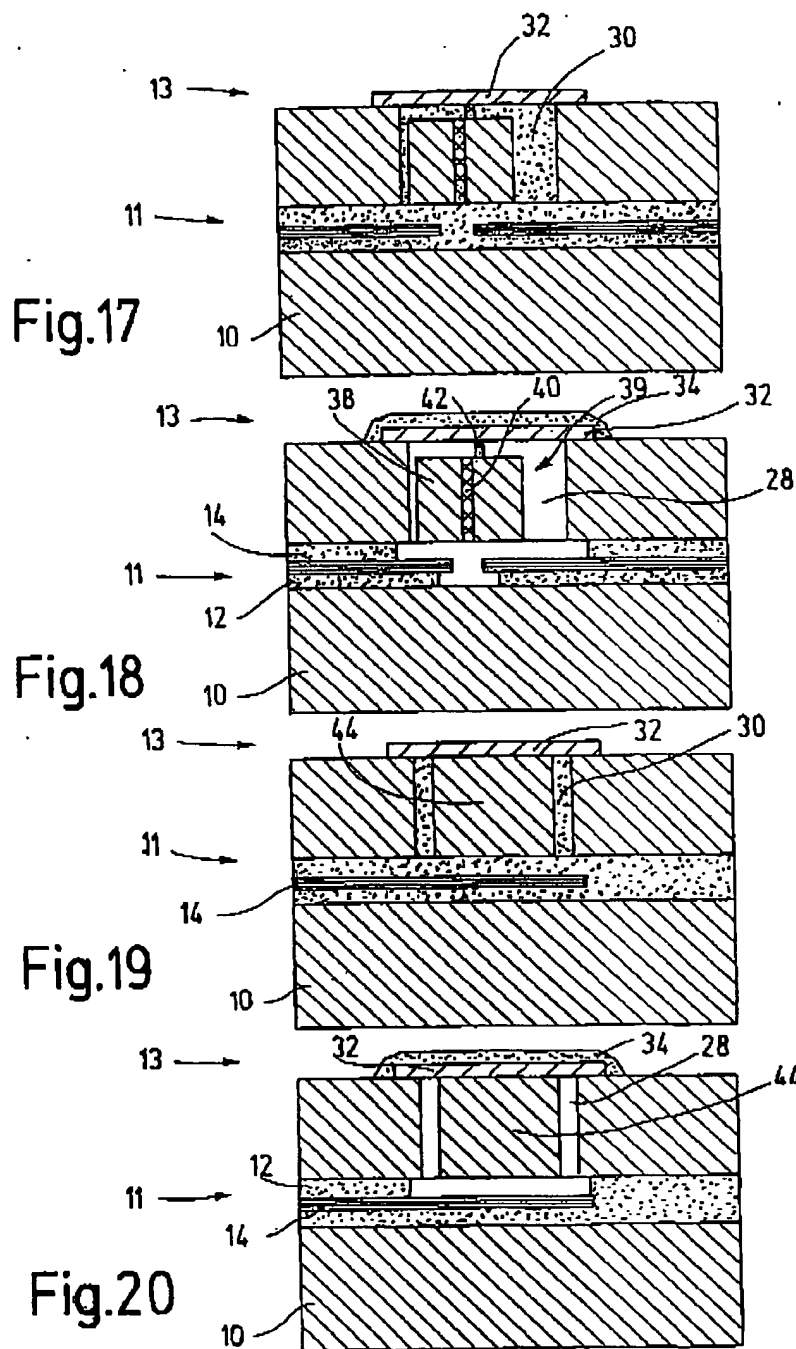
Nummer:
Int. Cl.7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001



102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 5

Nummer:
Int. Cl.7:
Offenlegungstag:DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 6

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

Fig.21

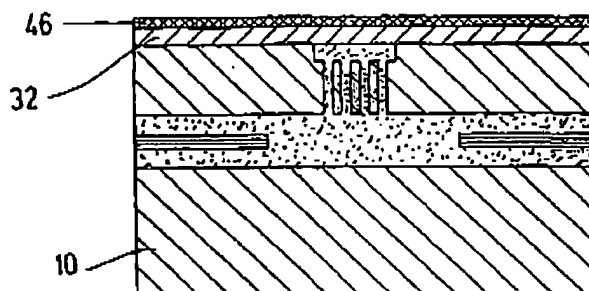


Fig.22

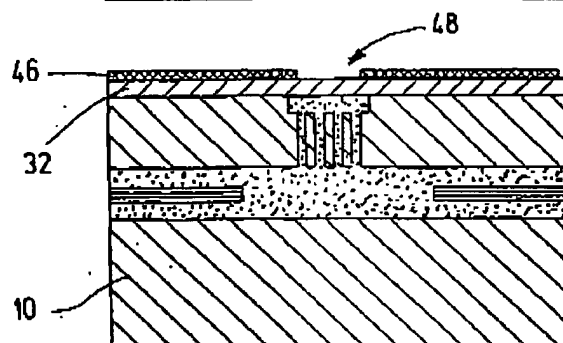
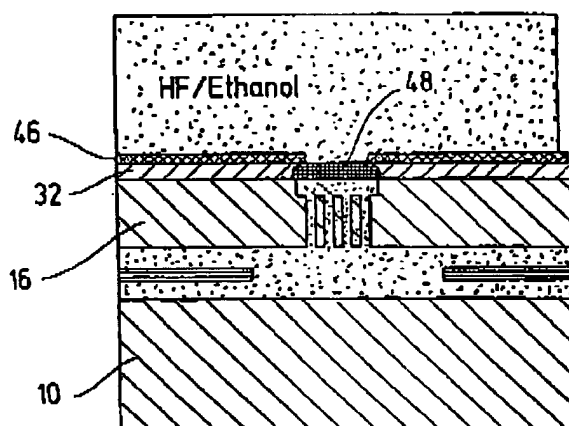
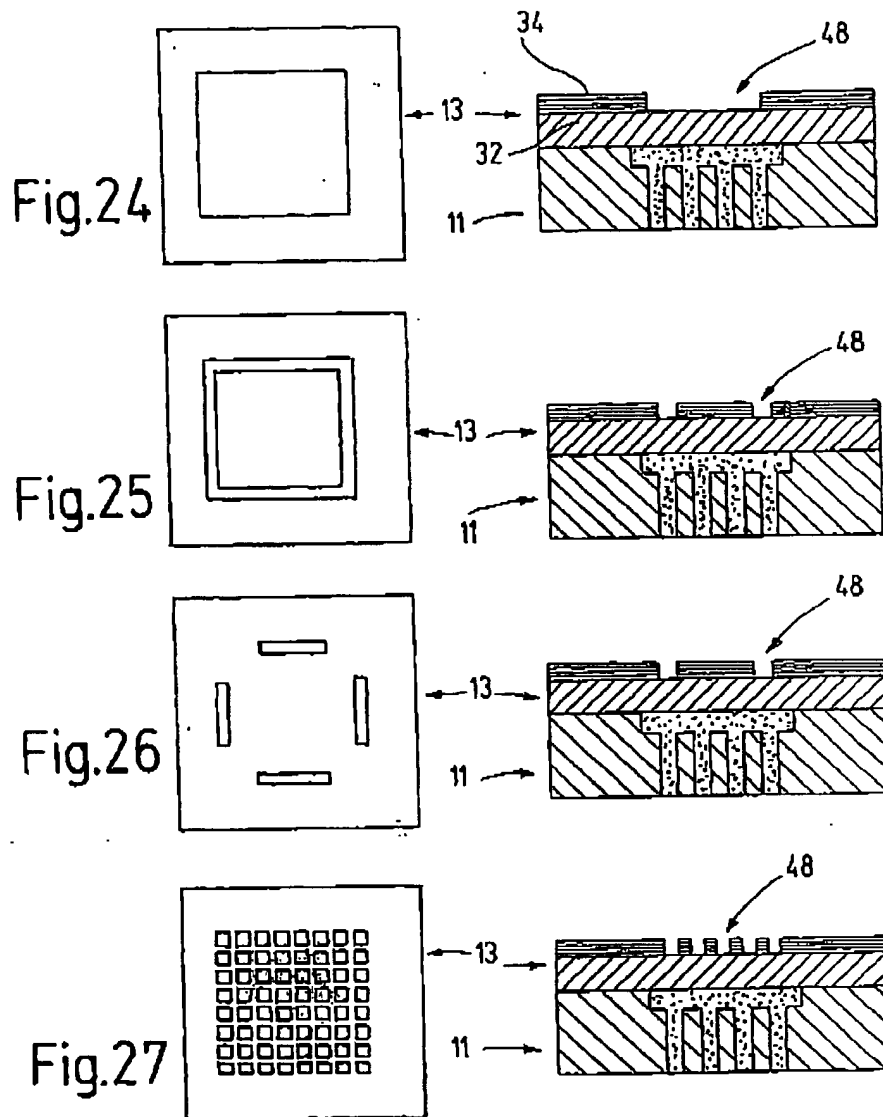


Fig.23



102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 7

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:DE 199 81 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 8

Nummer:
Int. Cl.7:
Offenlegungstag:

DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

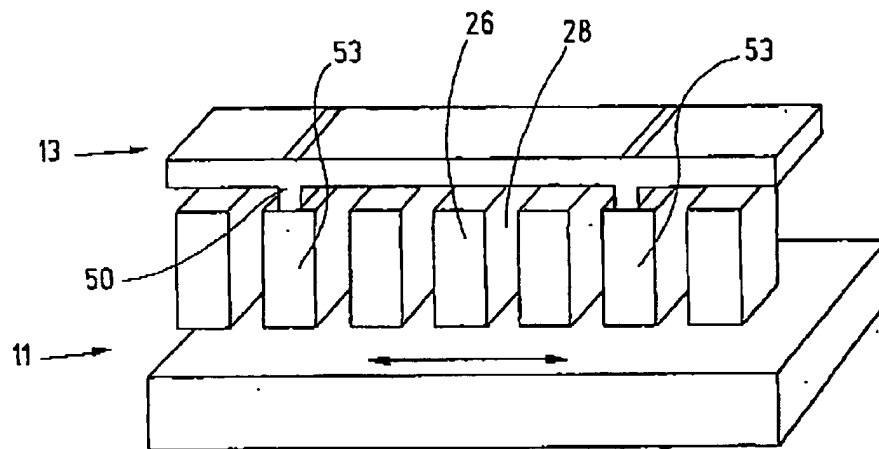


Fig. 28

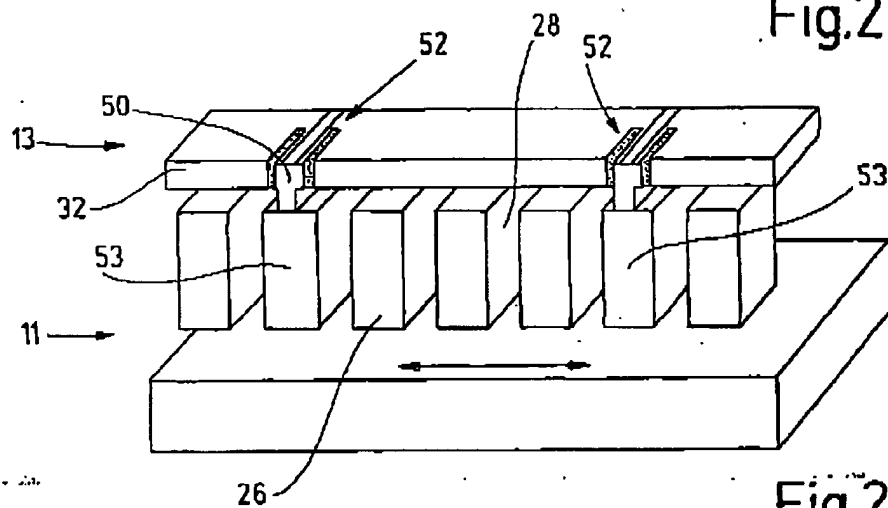


Fig. 29

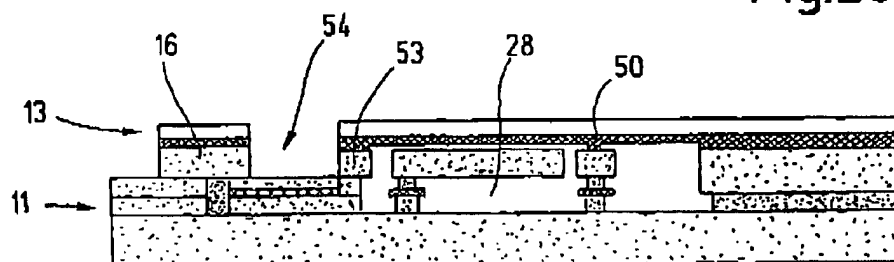


Fig. 30

102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 9

Nummer:

DE 199 81 578 A1

Int. Cl. 7:

B 81 B 3/00

Offenlegungstag:

28. Juni 2001

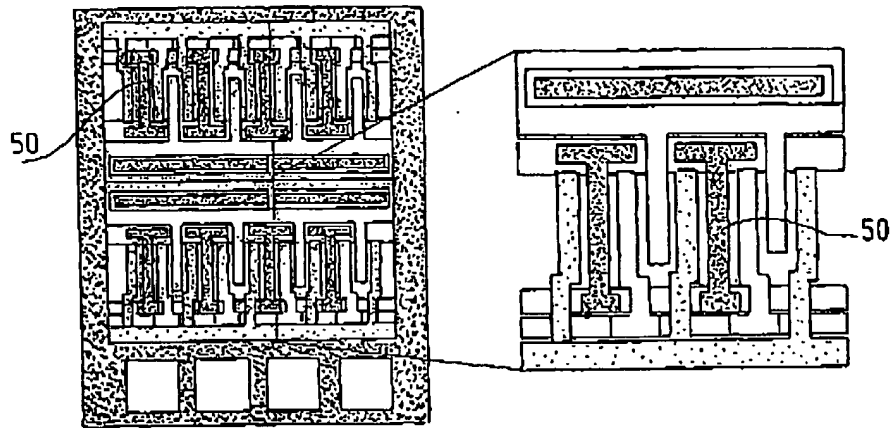
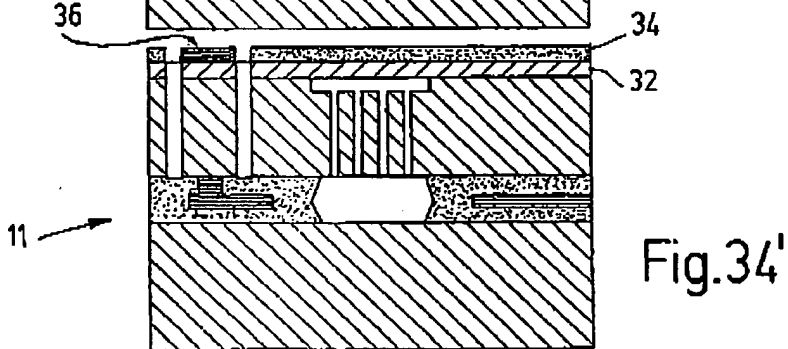
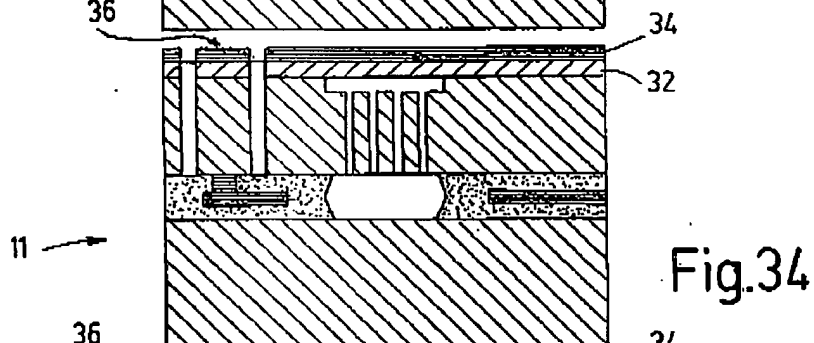
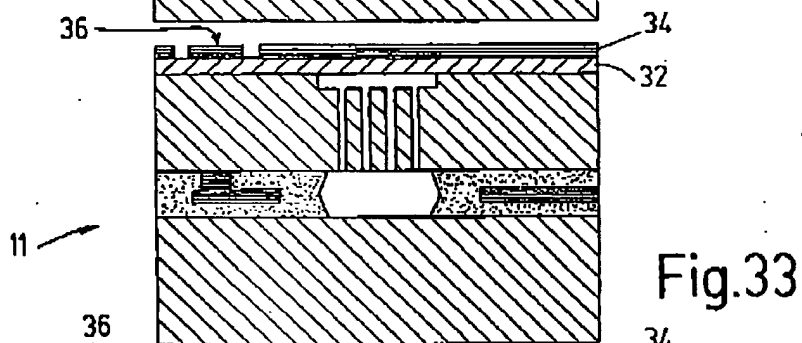
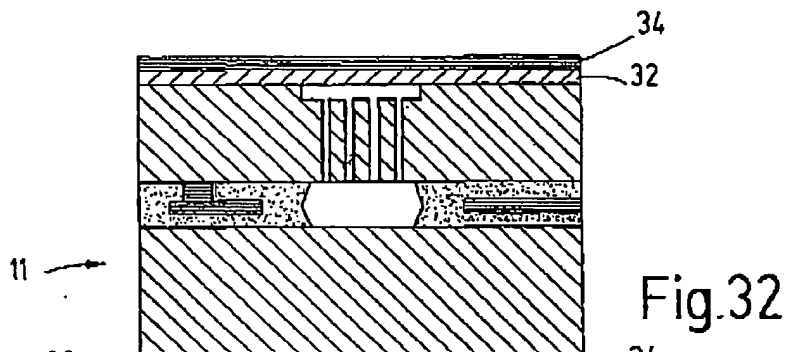


Fig.31

102 026/574

ZEICHNUNGEN SEITE 10

Nummer:
Int. Cl. 7:
Offenlegungstag:DE 199 61 578 A1
B 81 B 3/00
28. Juni 2001

102 026/574

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.